

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-051357

(43)Date of publication of application : 20.02.1998

(51)Int.Cl. H04B 3/06
H03H 15/00
H03H 17/00
H03H 21/00
H04B 7/005

(21)Application number : 08-202332

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP
<NTT>

(22)Date of filing : 31.07.1996

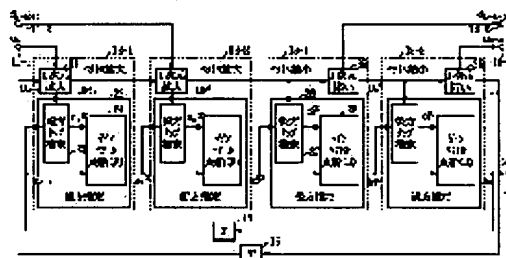
(72)Inventor : TANO SATORU
SHIRATO YASUSHI
SAITO YOICHI

(54) ADAPTIVE EQUALIZER AND GAIN VECTOR ESTIMATION DEVICE USED FOR THE SAME

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To reduce an operation amount by connecting a gain vector estimation device utilizing high-speed Kalman algorithm in multiple stages in the case that plural input signals are simultaneously inputted.

SOLUTION: To the judgement feedback type equalizer of a symbol cycle sample, this gain vector estimation device is connected in the multiple stages. The gain vector estimation device is provided with input terminals 11-1 and 11-2, vector magnification devices 12-1 and 12-2, vector reduction devices 13-1 and 13-2, output terminals 14-1, 14-2 and 15 and delay circuits 16 and 17. The vector magnification devices 12-1 and 12-2 are respectively provided with a linear magnification device 21 and a forward estimation device 22. The vector reduction devices 13-1 and 13-2 are respectively provided with a linear reduction device 25 and a backward estimation device 26. For the gain vector estimation device, reception signals are inputted to the input terminal 11-1, the identification signals of the judgement feedback type equalizer are inputted to the input terminal 11-2 and the updating of a gain vector is repeated while magnifying and reducing a signal vector by each dimension for the signals.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

27.04.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japanese Patent Office

(11)特許出願公開番号

特開平10-51357

(43)公開日 平成10年(1998)2月20日

(51) Int.Cl.*	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 4 B 3/06			H 0 4 B 3/06	A
H 0 3 H 15/00		9274-5 J	H 0 3 H 15/00	
17/00	6 0 1	9274-5 J	17/00	6 0 1 B
21/00		9274-5 J	21/00	
H 0 4 B 7/005			H 0 4 B 7/005	

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全 11 頁)

(21)出願番号 特願平8-202332

(22) 出願日 平成8年(1996)7月31日

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(72)発明者 田野 哲

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(72)発明者 白戸 裕史

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(72)発明者 斉藤 洋一

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

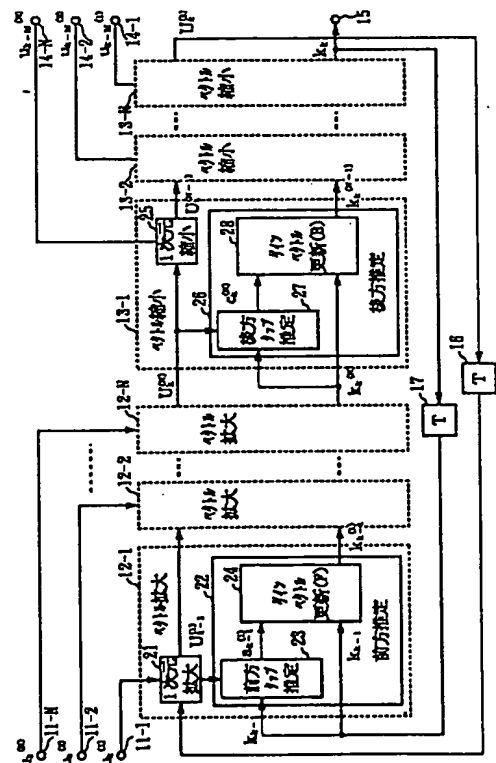
(74)代理人 弁理士 井出 直孝 (外1名)

(54) 【発明の名称】 適応等化器およびそれに用いるゲインベクトル推定器

(57) 【要約】

【課題】 トランスバーサル型の等化器を高速に収束させ、かつタップ長に対して比較的演算量を増大させることのない高速カルマンアルゴリズムを利用した適応等化器において、ゲインベクトル推定における逆行列演算を排除し、演算量を低減する。

【解決手段】 一度に複数の入力信号が入力される場合に、高速カルマンアルゴリズムを利用したゲインベクトル推定を多段に行うことで、各段のゲインベクトル推の入力信号を一つとし、逆行列演算を排除し、演算量を低減できる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 入力信号に対してその入力信号を順次遅延させて得られる遅延時間の異なる信号にそれぞれタップ係数を乗算して加算した信号を出力するタップ付遅延線フィルタと、

このタップ付遅延線フィルタの出力とその出力を符号識別して得られた識別信号との誤差を求める誤差検出手段と、

この誤差検出手段の出力に基づいて前記タップ付遅延線フィルタの各タップ係数を設定するタップ係数設定手段とを備え、

前記タップ係数設定手段は、

前記タップ付遅延線フィルタのそれまでの入力信号および新たな入力信号と前記誤差検出手段のそれまでの識別信号および新たな識別信号とから、前記タップ付遅延フィルタの各タップ係数に対する収束方向を表すゲインベクトルを生成するゲインベクトル推定手段と、

このゲインベクトルを前記誤差検出手段の出力に乗算することにより新たなタップ係数を求めるタップ係数推定手段とを含み、

前記ゲインベクトル推定手段は、

前記それまでの入力信号および前記それまでの識別信号を要素とする信号ベクトルに前記新たな入力信号および前記新たな識別信号を要素として加えた拡大された信号ベクトルと前の段階におけるゲインベクトルとから最新の入力信号を推定してそのゲインベクトルを更新する前方推定手段と、

前記拡大された信号ベクトルから過去の一部の入力信号および識別信号を除いた縮小された信号ベクトルを次の段階における信号ベクトルとして出力するとともに、前記拡大された信号ベクトルと前記前方推定手段により更新されたゲインベクトルとから最も古い入力信号を推定してそのゲインベクトルを更新する後方推定手段とを含む適応等化器において、

前記前方推定手段および前記後方推定手段の少なくとも一方は、入力信号および識別信号のそれぞれについて、信号ベクトルを1次元ずつ拡大あるいは縮小しながらゲインベクトルの更新を繰り返す手段を含むことを特徴とする適応等化器。

【請求項2】 一度に複数の入力信号が入力され、前記繰り返す手段は、この複数の入力信号のそれぞれについて、信号ベクトルを1次元ずつ拡大あるいは縮小しながらゲインベクトルを順次更新する手段を含む請求項1記載の適応等化器。

【請求項3】 ダイバーシチ受信された二つ入力信号が同時に入力され、前記前方推定手段および前記後方推定手段はそれぞれ、前記二つの入力信号とそれに対応する共通の識別信号との三つの信号に対応して前記繰り返す手段が三段階に構成された請求項1または2記載の適応等化器。

【請求項4】 フィルタ係数の収束方向を表すゲインベクトルを高速カルマンアルゴリズムにより求めるため、それまでに入力された信号を要素とする信号ベクトルに新たに入力された信号を加えた拡大された信号ベクトルを生成するベクトル拡大手段と、

この拡大された信号ベクトルと前の段階で推定されたゲインベクトルとから最新の入力信号を推定してゲインベクトルを更新する前方推定手段と、

前記拡大された信号ベクトルから過去の一部の信号を除いた縮小された信号ベクトルを次の段階における信号ベクトルとして出力するベクトル縮小手段と、

前記拡大された信号ベクトルと前記前方推定手段により更新されたゲインベクトルとから最も古い入力信号を推定してそのゲインベクトルを更新する後方推定手段とを備えたゲインベクトル推定器において、

1度に複数の信号が入力され、

前記ベクトル拡大手段はこの複数の信号のそれぞれに対して信号ベクトルを1次元ずつ拡大する複数の1次元拡大手段を含み、

前記前方推定手段はこの複数の1次元拡大手段のそれぞれに対応してゲインベクトルを順次更新するように多段に設けられ、

前記ベクトル縮小手段は信号ベクトルを1次元ずつ縮小する複数の1次元縮小手段を含み、

前記後方推定手段はこの複数の1次元縮小手段によりそれぞれ縮小される信号ベクトルに対応してゲインベクトルを順次更新するように多段に設けられたことを特徴とするゲインベクトル推定器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明はディジタル信号伝送に利用する。特に、伝搬路で発生する遅延による波形歪を自動的に補償する等化器に関する。

【0002】

【従来の技術】 ディジタル信号伝送では、伝搬路で発生する遅延波の影響により、復調信号に符号間干渉が発生して著しく伝送特性が劣化することがある。この符号間干渉を補償する有効な技術に適応等化器がある。特に、ディジタル移動通信のように先行波と遅延波の位相関係がダイナミックに変動しても、適応等化器はこの位相変動を適応的に追従するため、常に高い伝送特性の実現を可能とする。適応等化器の実現方法にはいくつかの方法が知られているが、移動通信環境下で有効なものとして、最尤系列推定 (MLSE: Maximum Likelihood Sequence Estimation) 型等化器と、判定帰還型等化器 (DFE: Decision Feedback Equalizer) とがある。

【0003】 図6は最尤系列推定型等化器の構成例を示す。この等化器は、入力端子61、減算器62、レプリカ生成器63、伝送路推定器64、二乗回路65、最尤系列推定器66および出力端子67を備える。入力端子

61から入力された受信信号は、減算器62に入力される。減算器62は、レプリカ生成器63から入力される受信信号の推定値であるレプリカに対して、受信信号の誤差を求める。二乗回路65は、この誤差の電力を求め、最尤系列推定器66に入力する。最尤系列推定器66は、この誤差電力を基に、最も尤度の高い送信系列を推定し、推定された系列を復号信号として出力端子67より出力する。一方、伝送路推定器64は、減算器62により得られた誤差信号と、最尤系列推定器66により得られた送信系列とを基に、伝送路のインパルス応答を求める。レプリカ生成器63は、このインパルス応答に基づいて、受信信号の推定値を演算する。

【0004】図7は判定帰還型等化器の構成例を示す。この等化器は、入力端子71、遅延回路72～75、乗算器76～80、加算器81、識別器82、減算器83、タップ係数推定器84および出力端子85を備える。遅延回路72～74、乗算器76～79および加算器81は、入力端子71から入力された受信信号の畳み込み演算を行う。すなわち、遅延回路72、73、74は、入力端子71から入力された受信信号に順次遅延を与える。乗算器76～79は、遅延回路72、73、74により得られる遅延時間の異なる信号に対し、それぞれタップ係数を乗算する。加算器81は、このタップ係数の乗算された信号を加算する。加算器81はまた、識別器82から遅延回路75および乗算器80を経由した信号、すなわちこの加算器81の一時刻前の出力を識別した結果に重みを付けた信号を加算し、その加算結果を復調信号として出力する。識別器82は、この復調信号の符号を識別し、復号信号として出力端子85に出力する。一方、減算器83は復調信号と識別器82の出力と誤差を求め、タップ係数推定器84は、この誤差に基づいて、乗算器76～79および80が乗算するタップ係数を更新する。

【0005】最尤系列推定型等化器は伝送路推定と最尤系列推定とを同時に行う並列推定器であり、移動通信のようなマルチパスレイリーフェージング伝送路でも、静的

なガウス雑音伝送路においても、最も優れた伝送特性を実現する。ところが、大きな遅延波に対応する場合、判定帰還型等化器はタップ数を大きくすることにより遅延波による波形歪を等化できるのに対し、最尤系列推定型等化器ではメモリ長を大きくする必要がある。判定帰還型等化器ではタップ長に比例してその演算量が増大するのに対し、最尤系列推定型等化器ではメモリ長に対して指数関数的に回路規模が増大するという問題がある。

【0006】一方、デジタル信号伝送では、時間軸上でバーストを区切り、各バーストに伝送チャネルを割り当てる時分割多元接続(TDMA、Time Division Multiple Access)方式が用いられる。この方式では、バーストの主に先頭あるいは中央に同期用のプリアンプルあるいはトレーニング信号が付加されている。バースト利用効率の観点から、同期信号は少ない方が望ましい。すなわち、バースト伝送に適用される適応等化器には、高速な同期特性が要求される。

【0007】高速な同期特性を実現する方法として、等化器の伝送路推定器に逐次最小二乗(RLS: Recursive Least Squares)アルゴリズムを用いる方法が知られている。このアルゴリズムについては、文献:S. Haykin, Adaptive filter theory, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1989に詳しい。

【0008】逐次最小二乗アルゴリズムでは、まず、1シンボル前に演算されたP行列と入力信号ベクトルとによりカルマンゲインベクトルを求める。次に、タップ係数更新量演算回路でカルマンゲインベクトルと誤差信号との積によりタップ係数更新量を求める。次に、この出力信号を1シンボル前のタップ係数に加算して、更新されたタップ係数とする。また、同時に、カルマンゲインベクトルと信号ベクトル、および1シンボル前のP行列を基に、P行列を更新する。逐次最小二乗アルゴリズムは以下の数式により表される。

【0009】

【数1】

$$K_k = \frac{\lambda^{-1} P_{k-1} U_k}{1 + \lambda^{-1} U_k^H P_{k-1} U_k}$$

$$e_k = r_k - H_{k-1}^H U_k$$

$$H_k = H_{k-1} + K_k e_k^*$$

$$P_k = \lambda^{-1} P_{k-1} - \lambda^{-1} K_k U_k^H P_{k-1}$$

$$P_k = (p_{ij}; i, j = 1..N), K_k = (k_i; i = 1..N), H_k = (h_i; i = 1..N), U_k = (u_i; i = 1..N)$$

数1において、 K_k はカルマンゲインベクトル、 P_k はP行列、 e_k は誤差信号、 H_k はタップ係数、 λ は忘却係数、 U_k は入力信号ベクトル、 r_k は受信信号を示し、添字kは時刻を示す。また、 H_k^H はベクトル H_k

のエルミート転置、*は複素共役を示し、小文字のp_{i,j}、 k_i 、 h_i 、 u_i は各々 P_k 、 K_k 、 H_k 、 U_k のiあるいはj要素を示す。逐次最小二乗アルゴリズムでは、バーストの先頭から受信したすべての信号から最

適なタップ係数を求めるため、高速な同期特性が得られる。ただし、逐次最小二乗アルゴリズムでは、タップ長の二乗に比例して演算量が増大するため、大きな遅延波に対応した場合に演算量が大きくなりすぎるという問題点がある。

【0010】逐次最小二乗アルゴリズムと全く同等の特性が得られ、タップ数の一次関数としてしか演算量が増大せずに逐次最小二乗アルゴリズムにおけるゲインベクトルを求める方法として、高速カルマンアルゴリズムがある。これについても上述の文献に詳しい。高速カルマンアルゴリズムは以下の数式により表される。

【0011】

【数2】

$$\begin{aligned}\phi_k &= a_{k-1}^H U_k \\ a_k &= a_{k-1} - \begin{pmatrix} 0 \\ k_{k-1} \end{pmatrix} \phi_k^* \\ f_k &= a_k^H U_k \\ F_k &= \lambda F_{k-1} + f_k^* \phi_k \\ K_k &= \begin{pmatrix} 0 \\ k_{k-1} \end{pmatrix} + \frac{f_k}{F_k} a_k \\ K_k &= \begin{pmatrix} t_k \\ \tau_k \end{pmatrix} \\ b_k &= C_{k-1}^H U_k \\ C_k &= (1 - \tau_k b_k^*)^{-1} (C_{k-1} + K_k b_k^*) \\ \begin{pmatrix} k_k \\ 0 \end{pmatrix} &= K_k - C_k \tau_k\end{aligned}$$

図8は高速カルマンアルゴリズムを利用したゲインベクトル推定器の構成例を示す。このゲインベクトル推定器は、入力端子91-1、91-2、ベクトル拡大器92、ベクトル縮小器93、出力端子94-1、94-2、95および遅延回路96、97を備える。ベクトル拡大器92には2次元拡大器101および前方推定器102を備え、前方推定器102には前方タップ推定器103およびゲインベクトル更新器104を備える。ベクトル縮小器93には、2次元縮小器105および後方推定器106を備え、後方推定器106には後方タップ推定器107およびゲインベクトル更新器108を備える。

【0012】ベクトル拡大器91には、入力端子91-1からの受信信号 r_k と、入力端子91-2からの受信信号 r_k が入力された時点での識別信号 d_{k-M+1} と、前の時点にこのゲインベクトル推定器で得られた信号ベクトル U_{k-1} およびゲインベクトル k_{k-1} とが入力される。ここで、Mはフィードフォワードタップ長であり、図7の例における遅延72、73、74の段数に相当する。2次元拡大器101は、受信信号 r_k と識別信号 d_{k-M+1} とを新しい要素として信号ベクトル U_{k-1} に加え

ることで、信号ベクトルの次元を拡大する。前方推定器102は、この拡大された信号ベクトル $U_k^{(1)}$ とゲインベクトル k_{k-1} とを用いて、信号ベクトル $U_k^{(1)}$ が入力された場合に必要なゲインベクトル $k_k^{(1)}$ を演算して出力する。このとき、前方推定器102内の前方タップ推定器103は、信号ベクトル $U_k^{(1)}$ とゲインベクトル k_{k-1} とを用いて、数2に示した数式の最初の三つの数式の演算を行う。ゲインベクトル更新器104は、得られたタップ係数 a_k とゲインベクトル k_{k-1} とを用いて、数2に示した4番目および5番目の数式の演算を行い、ゲインベクトル k_{k-1} より二次元長いゲインベクトル $k_k^{(1)}$ を出力する。

【0013】ベクトル縮小器93には、ゲインベクトル $k_k^{(1)}$ と信号ベクトル $U_k^{(1)}$ とが入力される。後方推定器106は、このゲインベクトル $k_k^{(1)}$ と信号ベクトル $U_k^{(1)}$ とを用いて、信号ベクトル U_k が入力された場合に必要なゲインベクトル k_k を演算して出力する。同時に、2次元縮小器105において、入力信号ベクトルである $U_k^{(1)}$ における最も古い受信信号 r_{k-M} および識別信号 d_{k-L-M} を除いた信号ベクトル U_k を出力する。この例では、受信信号 r_{k-M} および識別信号 d_{k-L-M} をそれぞれ出力端子94-1、94-2に出力する。ここで、Lはフィードバックタップ長であり、図7の例における遅延回路75の段数に相当する。一方、後方推定器106では、信号ベクトル $U_k^{(1)}$ とゲインベクトル $k_k^{(1)}$ とを入力として、後方タップ推定器107により数2の6番目ないし8番目の数式を演算することで後方タップ係数を更新し、ゲインベクトル更新器108は、この後方タップ係数 c_k とゲインベクトル $k_k^{(1)}$ とを基に、数2の9番目の数式によりゲインベクトル k_{k-1} を出力する。このゲインベクトル k_{k-1} と信号ベクトル U_k とを次の時刻のベクトル拡大器92の入力とする。

【0014】図9は高速カルマンアルゴリズムによるゲインベクトル推定を用いたタップ係数推定器の構成例を示す。このタップ係数推定器は、入力端子111、ゲインベクトル推定器112、乗算器113、加算器114、遅延回路115および出力端子116を備える。入力端子111には、図7に示した減算器83の出力である誤差信号が入力される。ゲインベクトル推定器112は、図7における入力端子71の入力信号と識別器82の出力とが入力され（図示せず）、推定したゲインベクトルを出力する。乗算器113は、このゲインベクトルと入力端子111からの誤差信号とのベクトル相関を演算する。加算器114と遅延回路115とは積分器を構成し、乗算器113の演算出力を積分することで、ベクトル相関の平均値をタップ係数として出力端子116より出力する。

【0015】高速カルマンアルゴリズムは、タップ付遅延線フィルタ内を1シンボルずつデータがシフトしてい

くという特徴を利用し、逐次アルゴリズムの演算を簡略化したものである。したがって、判定帰還型等化器のように一度に幾つかの信号が入力される場合には数2のベクトルが行列となり、かつ4番目の式におけるスカラが行列になるため、5番目の式では逆行列演算が必要となる。また、8番目の式でも、スカラの逆数が逆行列演算になる。一般に逆行列演算をハードウェアで実現するには、膨大な演算量が必要となる。

【0016】

【発明が解決しようとする課題】移動伝送路で大きな遅延波を等化する場合には、最も優れた等化能力を有する最尤系列推定型等化器ではメモリ長を大きくとる必要があり、膨大な回路規模が必要となる問題点があった。また、判定帰還型等化器を用いた場合には、高速引き込みのためのタップ係数推定のために逐次最小二乗アルゴリズムを用いる必要があるが、このアルゴリズムはタップ長の二乗に比例して演算量が大きくなり、大きな遅延波を等化する場合にはやはり演算量が増大してしまう問題点があった。さらに、フラクショナルサンプルの線形等化器あるいは判定帰還型等化器に高速カルマンアルゴリズムを用いた場合には、逆行列演算が含まれるため、演算量が増大する問題点があった。

【0017】本発明は、このような課題を解決し、トランスバーサル型の等化器を高速に収束させ、かつタップ長に対して比較的演算量を増大させることのない高速カルマンアルゴリズムを利用した適応等化器において、ゲインベクトル推定における逆行列演算を排除し、演算量を低減することを目的とする。

【0018】

【課題を解決するための手段】本発明の第一の観点によると、入力信号に対してその入力信号を順次遅延させて得られる遅延時間の異なる信号にそれぞれタップ係数を乗算して加算した信号を出力するタップ付遅延線フィルタと、このタップ付遅延線フィルタの出力とその出力を符号識別して得られた識別信号との誤差を求める誤差検出手段と、この誤差検出手段の出力に基づいてタップ付遅延線フィルタの各タップ係数を設定するタップ係数設定手段とを備え、タップ係数設定手段は、タップ付遅延線フィルタのそれまでの入力信号および新たな入力信号と誤差検出手段のそれまでの識別信号および新たな識別信号とから、タップ付遅延線フィルタの各タップ係数に対する収束方向を表すゲインベクトルを生成するゲインベクトル推定手段と、このゲインベクトルを誤差検出手段の出力に乗算することにより新たなタップ係数を求めるタップ係数推定手段とを含み、ゲインベクトル推定手段は、それまでの入力信号およびそれまでの識別信号を要素とする信号ベクトルに新たな入力信号および新たな識別信号を要素として加えた拡大された信号ベクトルと前の段階におけるゲインベクトルとから最新の入力信号を推定してそのゲインベクトルを更新する前方推定手段

と、拡大された信号ベクトルから過去の一部の入力信号および識別信号を除いた縮小された信号ベクトルを次の段階における信号ベクトルとして出力するとともに、拡大された信号ベクトルと前方推定手段により更新されたゲインベクトルとから最も古い入力信号を推定してそのゲインベクトルを更新する後方推定手段とを含む適応等化器において、前方推定手段および後方推定手段の少なくとも一方は、入力信号および識別信号のそれぞれについて、信号ベクトルを1次元ずつ拡大あるいは縮小しながらゲインベクトルの更新を繰り返す手段を含むことを特徴とする適応等化器が提供される。

【0019】一度に複数の入力信号が入力され、繰り返す手段は、この複数の入力信号のそれぞれについて、信号ベクトルを1次元ずつ拡大あるいは縮小しながらゲインベクトルを順次更新することがよい。例えばダイバーシチ受信により二つ入力信号が同時に入力される場合には、前方推定手段および後方推定手段はそれぞれ、二つの入力信号とそれに対応する共通の識別信号との三つの信号に対応して繰り返す手段が三段階に構成されることがよい。

【0020】本発明の第二の観点によると、このような適応等化器に用いられるゲインベクトル推定器が提供される。すなわち、フィルタ係数の収束方向を表すゲインベクトルを高速カルマンアルゴリズムにより求めるため、それまでに入力された信号を要素とする信号ベクトルに新たに入力された信号を加えた拡大された信号ベクトルを生成するベクトル拡大手段と、この拡大された信号ベクトルと前の段階で推定されたゲインベクトルとから最新の入力信号を推定してゲインベクトルを更新する前方推定手段と、拡大された信号ベクトルから過去の一部の信号を除いた縮小された信号ベクトルを次の段階における信号ベクトルとして出力するベクトル縮小手段と、拡大された信号ベクトルと前方推定手段により更新されたゲインベクトルとから最も古い入力信号を推定してそのゲインベクトルを更新する後方推定手段とを備えたゲインベクトル推定器において、1度に複数の信号が入力され、ベクトル拡大手段はこの複数の信号のそれぞれに対して信号ベクトルを1次元ずつ拡大する複数の1次元拡大手段を含み、前方推定手段はこの複数の1次元拡大手段のそれぞれに対応してゲインベクトルを順次更新するように多段に設けられ、ベクトル縮小手段は信号ベクトルを1次元ずつ縮小する複数の1次元縮小手段を含み、後方推定手段はこの複数の1次元縮小手段によりそれぞれ縮小される信号ベクトルに対応してゲインベクトルを順次更新するように多段に設けられたことを特徴とするゲインベクトル推定器が提供される。

【0021】高速カルマンアルゴリズムを利用したゲインベクトル推定では、1度に1シンボルずつ入力される場合であれば、推定演算の中に逆行列演算が含まれることはなく、逆数演算でよい。そこで、1度に複数シンボルが

入力されるフラクショナルサンプルや判定帰還型等化器の場合には、高速カルマンアルゴリズムを多段構成とし、各段には1度に1シンボルしか入力されないように構成することで、カルマンアルゴリズムを利用したゲインベクトル推定演算における逆行列を排除することができる。ゲインベクトル推定器を多段構成とすることで各前方／後方推定器内の変数が入力シンボル数に比例して増大するが、これは従来の技術において1度に複数シンボルが入力される場合も同じであり、本発明により逆行列演算以外の部分で演算量が増大することはない。

【0022】本発明は、一度に複数の入力信号が入力される場合に、高速カルマンアルゴリズムを利用したゲインベクトル推定器を多段に接続することで、各段のゲインベクトル推定器の入力信号を一つとすることにより、逆行列演算を排除し、演算量を低減できる。

【0023】

【発明の実施の形態】図1は本発明の実施形態を示すブロック構成図であり、ゲインベクトル推定器の構成例を示す。

【0024】このゲインベクトル推定器は、入力端子11-1～11-Nから1度に複数の信号が入力され、それまでに入力された信号を要素とする信号ベクトルに新たに入力された信号を加えた拡大された信号ベクトルを生成する1次元拡大器21と、この拡大された信号ベクトルと前の段階で推定されたゲインベクトルとから最新の入力信号を推定してゲインベクトルを更新する前方推定器22とからなるベクトル拡大器12-1～12-Nと、拡大された信号ベクトルから過去の一部の信号を除いた縮小された信号ベクトルを次の段階における信号ベクトルとして出力するベクトル縮小器25と、拡大された信号ベクトルと前方推定器22より更新されたゲインベクトルとから最も古い入力信号を推定してそのゲインベクトルを更新する後方推定器26とからなるベクトル縮小器13-1～13-Nとが多段に配置される。前方推定器22は前方タップ推定器23およびゲインベクトル更新器24を備え、後方推定器26は後方タップ推定器27およびゲインベクトル更新器28を備える。

【0025】前方タップ推定器23は、信号ベクトルと1時刻前までに推定された前方タップベクトルの内積を求め、その内積と入力信号との差（第一の減算値）をとり、その差とゲインベクトルとの相関をとり、その相関出力にタップベクトルを加算し、得られた第一の加算ベクトルと信号ベクトルとの内積をとり、その内積と入力信号との差をとり、この差と第一の減算値との積をとり、その結果を累積加算する。

【0026】ゲインベクトル更新器24は、この累積加算された値により第一の減算値を除算し、得られた信号と第一の加算ベクトルとの相関をとり、その相関にゲインベクトルを加算し、得られた第二の加算ベクトルに1次元拡大して上記の除算により得られた信号を新たな要

素として出力する。

【0027】後方タップ推定器27は、信号ベクトルと1時刻前までに推定された後方タップベクトルの内積を求め、その内積と信号ベクトルの最も古い信号との差（第二の減算値）をとり、その差と第二の加算ベクトルとの相関をとり、後方タップベクトルを次元拡大して新たな要素として1を加えたベクトルにベクトル相関出力を加算し、ベクトル相関出力のうち後方タップベクトルの拡大した要素が1に正規化されるように、ベクトルの各要素の除算演算を行う。

【0028】ゲインベクトル更新器28は、ゲインベクトル更新器24において1次元拡大されたゲインベクトルのうちタップベクトルの拡大次元に対応する要素と正規化出力との相関をとり、1次元拡大されたベクトルからベクトル相関出力を減算する。

【0029】入力端子11-1～11-Nからの信号はそれぞれベクトル拡大器12-1～12-Nに入力され、1次元拡大器21に供給される。これらの1次元拡大器21は、入力された複数の信号のそれぞれについて、信号ベクトルを1次元ずつ拡大する。前方推定器22は、1次元拡大器21に対応して、ゲインベクトルを順次更新する。ベクトル縮小器13-1～13-Nのそれぞれの1次元縮小器25は、信号ベクトルを1次元ずつ縮小する。縮小の対象となった信号については、出力端子14-1～14-Nに出力する。後方推定器26は、1次元縮小器25によりそれぞれ縮小される信号ベクトルに対応してゲインベクトルを順次更新する。ベクトル縮小器13-Nの1次元縮小器25により得られた信号ベクトルは、遅延回路16を経由して、次の時点の信号ベクトルとしてベクトル拡大器12-1に入力される。また、ベクトル縮小器13-Nの後方推定器26により得られたゲインベクトルは、出力端子15に出力されるとともに、遅延回路17を経由して、次の時点のゲインベクトルとしてベクトル拡大器12-1に入力される。このゲインベクトル推定器の動作について以下に詳しく説明する。

【0030】このゲインベクトル推定器には、時刻kにN個の信号 $u_k^{(1)} \sim u_k^{(N)}$ が一度に入力される。ベクトル拡大器12-1は、入力端子11-1から入力された入力信号 $u_k^{(1)}$ と、一時刻前までに推定されたゲインベクトル k_{k-1} および信号ベクトル U_{k-1} とを入力とし、入力信号 $u_k^{(1)}$ と信号ベクトル U_{k-1} とを1次元拡大器21に入力し、その出力の信号ベクトル $U_{k-1}^{(1)}$ とゲインベクトル k_{k-1} とを前方推定器22に入力し、信号ベクトル $U_{k-1}^{(1)}$ と前方推定器22の出力するゲインベクトル $k_{k-1}^{(1)}$ とを次段のベクトル拡大器12-2に出力する。1次元拡大器21は、信号ベクトル U_{k-1} の次元を拡大し、入力信号 $u_k^{(1)}$ を新たな要素とする信号ベクトル $U_{k-1}^{(1)}$ を出力する。前方推定器22内の前方タップ推定器23は、信号ベクトル U

$k_{k-1}^{(1)}$ とゲインベクトル k_{k-1} とから数 2 の 1 番目ないし 3 番目の式の演算を行うことで、前方タップ係数 a_{k-1} を更新する。前方推定器 22 内のゲインベクトル更新器 24 は、この前方タップ係数 a_{k-1} とゲインベクトル k_{k-1} とから、数 2 の 4 番目および 5 番目の式の演算を行うことで、 k_{k-1} より 1 次元長いゲインベクトル $k_{k-1}^{(1)}$ を演算する。

【0031】ベクトル拡大器 12-2 は、ベクトル拡大器 12-1 より出力信号である信号ベクトル U_{k-1} (1) およびゲインベクトル $k_{k-1}^{(1)}$ と入力信号 u_k (2) とから、数 2 の 1 番目ないし 5 番目の演算により、信号ベクトル $U_{k-1}^{(2)}$ とゲインベクトル $k_{k-1}^{(2)}$ とを出力する。

【0032】同様の処理を繰り返し行うことで、最終的にベクトル拡大器 12-N から、信号ベクトル U_{k-1} とゲインベクトル k_{k-1} より N 次元大きな信号ベクトル $U_{k-1}^{(N)}$ とゲインベクトル $k_{k-1}^{(N)}$ とが出力される。

【0033】ベクトル縮小器 13-1 では、ベクトル拡大器 12-N より出力である信号ベクトル $U_k^{(N)}$ とゲインベクトル $k_k^{(N)}$ とを入力とし、この二つのベクトルを後方推定器 26 に入力し、同時に信号ベクトル $U_k^{(N)}$ を 1 次元縮小器 25 に入力し、1 次元縮小器 25 の出力する信号ベクトル $U_k^{(N-1)}$ と後方推定器 26 の出力するゲインベクトル $k_k^{(N-1)}$ とをこのベクトル縮小器 13-1 の出力とする。1 次元縮小器 25 では、入力信号ベクトルから過去に輸入された最も古い信号を取り除いた信号ベクトル $U_k^{(N-1)}$ を出力する。後方推定器 26 内の後方タップ推定器 27 は、信号ベクトル $U_k^{(N)}$ とゲインベクトル $k_k^{(N)}$ とを用い、数 2 の 5 番目ないし 8 番目の演算を行うことにより、後方タップ係数 $c_k^{(N)}$ を出力する。ゲインベクトル更新器 28 は、ゲインベクトル $k_k^{(N)}$ と後方タップ係数 $c_k^{(N)}$ を用いて数 2 の 9 番目の演算を行うことにより、1 次元小さいゲインベクトル $k_k^{(N-1)}$ を出力する。

【0034】ベクトル縮小器 13-2 は、信号ベクトル $U_k^{(N-1)}$ とゲインベクトル $k_k^{(N-1)}$ を入力とし、ベクトル縮小器 13-1 と同様の演算を行うことで、信号ベクトル $U_k^{(N-1)}$ およびゲインベクトル $k_k^{(N-1)}$ より各々 1 次元小さい信号ベクトル $U_k^{(N-2)}$ とゲインベクトル $k_k^{(N-2)}$ とを出力する。この操作を繰り返すことにより、信号ベクトル U_{k-1} およびゲインベクトル k_{k-1} と同じ次元の信号ベクトル U_k およびゲインベクトル k_k が得られ、これを次の時刻におけるベクトル拡大器 12-1 の入力とする。同時に、ゲインベクトル k_k をこのゲインベクトル推定器の出力とする。

【0035】このゲインベクトル推定器は、例えば図 9 に示したタップ推定器のゲインベクトル推定器 92 として用いることで、このゲインベクトル推定器により得られたゲインベクトルを用いてタップ係数を推定し、その

タップ係数を用いて波形歪を等化することができる。

【0036】

【実施例】図 2 は本発明のゲインベクトル推定器をシンボル周期サンプルの判定帰還型等化器に利用した場合の実施例を示すブロック構成図である。

【0037】このゲインベクトル推定器は、入力端子 11-1、11-2、ベクトル拡大器 12-1、12-2、ベクトル縮小器 13-1、13-2、出力端子 14-1、14-2、15 および遅延回路 16、17 を備える。ベクトル拡大器 12-1、12-2 はそれぞれ 1 次元拡大器 21 および前方推定器 22 を備え、前方推定器 22 は前方タップ推定器 23 およびゲインベクトル更新器 24 を備える。また、ベクトル縮小器 13-1、13-2 はそれぞれ 1 次元縮小器 25 および後方推定器 26 を備え、後方推定器 26 は後方タップ推定器 27 およびゲインベクトル更新器 28 を備える。

【0038】このゲインベクトル推定器は、入力端子 11-1 に受信信号、入力端子 11-2 に判定期間型等価器の識別信号が入力され、これらの信号に対し、信号ベクトルを 1 次元ずつ拡大、縮小しながらゲインベクトルの更新を繰り返す。そして、最終的に得られたゲインベクトルについて、図 9 に示すように、誤差信号とのベクトル相関を演算し、それを積分することで、図 7 に示すタップ付遅延線フィルタのタップ係数を得る。

【0039】図 3 は合成型ダイバーシチ等化器の構成例を示し、図 4 はこの等化器に用いるゲインベクトル推定器の構成例を示す。

【0040】図 3 に示す合成型ダイバーシチ等化器は、各ダイバーシチブランチよりの受信信号が入力される入力端子 31、32 と、入力端子 31 からの信号を順次遅延させる遅延回路 33~35、入力端子 32 からの信号を順次遅延させる遅延回路 36~38 および識別信号を遅延させる遅延回路 39 と、入力端子 31 からの信号および遅延回路 33~35 の出力にそれぞれタップ係数を乗算する乗算器 40~43、入力端子 32 からの信号および遅延回路 36~38 の出力にそれぞれタップ係数を乗算する乗算器 47 および遅延回路 39 の出力にタップ係数を乗算する乗算器 48 と、乗算器 40~48 の出力を加算する加算器 49 と、加算器 49 の出力を識別する識別器 50 と、加算器 49 の出力と識別器 50 の出力との誤差を求める減算器 51 と、減算器 51 の出力する誤差から各タップ係数を推定するタップ係数推定器 52 と、識別器 50 により識別された信号を出力する出力端子 53 とを備える。

【0041】受信信号は各々入力端子 31、32 に入力される。入力端子 31 より入力は遅延回路 33~35 と乗算器 40~43 からなるタップ付遅延線と加算器 49 により、また入力端子 32 より入力は遅延回路 36~38 と乗算器 44~47 からなるタップ付遅延線と加算器 49 とにより、各々畳み込み演算される。同時に 1

シンボル前に加算器49の出力信号を識別した信号に乗算器48により重み付けし、加算器49に入力する。

【0042】この構成は等化器とダイバーシチを融合したものであり、等化効果に加えて、最大比合成を実現することができる。

【0043】この合成型ダイバーシチ等化器には、二つのブランチを含むため、一度に二つの受信信号が入力される。この場合に、タップ係数推定器52内のベクトル推定器には、この二つの受信信号と、識別器50に得られた識別信号とを入力する必要がある。そこで、3段構成のベクトル拡大器12-1～12-3およびベクトル縮小器13-1～13-3を用いる。すなわち、ベクトル拡大器12-1に第一ブランチの信号を入力し、ベクトル拡大器12-2に第二ブランチの信号を入力し、ベクトル拡大器12-3に識別信号を入力する。また、ベクトル縮小器13-1では最も古い識別信号を出力し、ベクトル縮小器13-2では第二ブランチの最も古い受信信号を出力し、ベクトル縮小器12-3では第一ブランチの最も古い受信信号を出力する。これにより、ダイバーシチ判定帰還型等化器のタップ係数を推定できる。

【0044】図5は本発明をフィードバックタップ数2 ($L=2$)、フィードフォワードタップ数4 ($M=4$)の判定帰還型等化器に利用した場合の室内実験結果を示す。変調方式はQPSK、伝送路は2波独立のレイリーフェージング、その正規化最大ドップラー周波数は 0.5×10^{-4} と 1.0×10^{-4} とで、遅延波の正規化量は0.65である。フレームフォーマットとしては、1バーストの先頭に12シンボルのユニークワードとその後に108シンボルのデータをもつものを用いた。理論値として、1シンボル遅延の存在下における適応等化器の特性を示す。この図からわかるように、理論値から2dB程度の劣化となり、12シンボルのみのユニークワードで逐次最小二乗アルゴリズムなみの高速同期特性が得られていることが確認できる。

【0045】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、一度に複数の入力信号が入力される場合に、高速カルマンアルゴリズムを利用したゲインベクトル推定器を多段に接続することで、各段のゲインベクトル推定器の入力信号を一つとし、逆行列演算を排除し、演算量を低減できる効果がある。また、逐次最小二乗アルゴリズムがタップ長の二乗に比例してその演算量が増大するのに対し、本発明ではタップ長の1次関数としてしか演算量が増大しないため、著しい演算量低減効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施形態を示すブロック構成図。

【図2】本発明のゲインベクトル推定器をシンボル周期サンプルの判定帰還型等化器に利用した場合の実施例を示すブロック構成図。

【図3】合成型ダイバーシチ等化器の構成例を示すブロック構成図。

【図4】この等化器に用いるゲインベクトル推定器をブロック構成図。

【図5】本発明をフィードバックタップ数2、フィードフォワードタップ数4の判定帰還型等化器に利用した場合の室内実験結果を示す図。

【図6】最尤系列推定型等化器を示すブロック構成図。

【図7】判定帰還型等化器の構成例を示すブロック構成図。

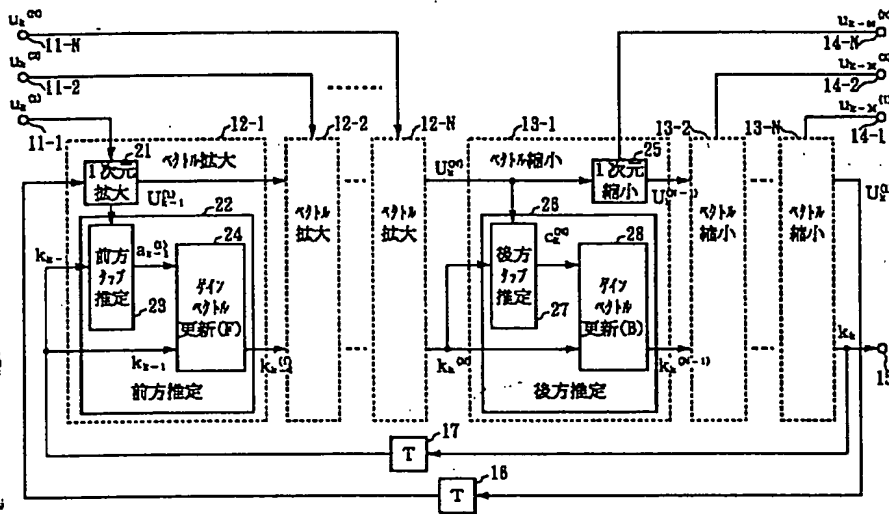
【図8】高速カルマンアルゴリズムを利用した従来例のゲインベクトル推定器の構成例を示す図。

【図9】高速カルマンアルゴリズムによるゲインベクトル推定を用いたタップ係数推定器の構成例を示す図。

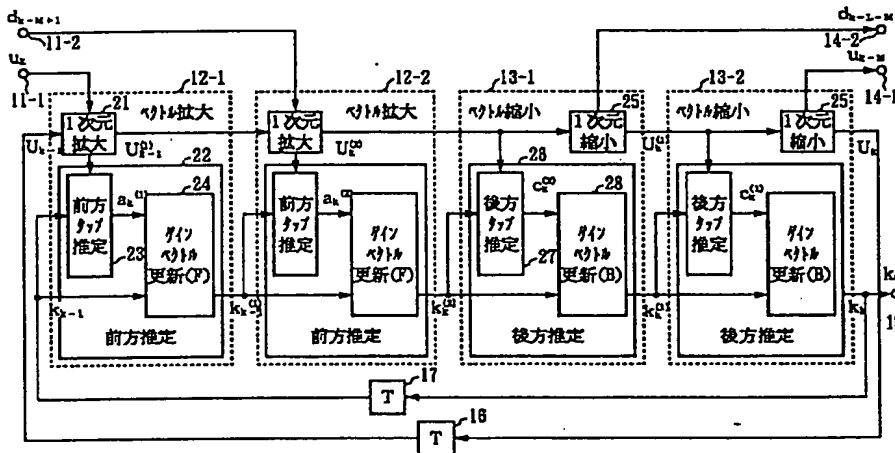
【符号の説明】

11-1～11-N、31、32、61、71、91-1、91-2、111 入力端子
12-1～12-N、92 ベクトル拡大器
13-1～13-N、93 ベクトル縮小器
14-1～14-N、15、53、67、85、94-1、94-2、95、116 出力端子
16、17、33～39、72～75、96、97、115 遅延回路
21 1次元拡大器
22、102 前方推定器
23、103 前方タップ推定器
24、28、104、108 ゲインベクトル更新器
25 1次元縮小器
26、106 後方推定器
27、107 後方タップ推定器
40～48、76～80、113 乗算器
49、81、114 加算器
50、82 識別器
51、62、83 減算器
52、84 タップ係数推定器
63 レプリカ生成器
64 伝送路推定器
65 二乗回路
66 最尤系列推定器
101 2次元拡大器
105 2次元縮小器
112 ゲインベクトル推定器

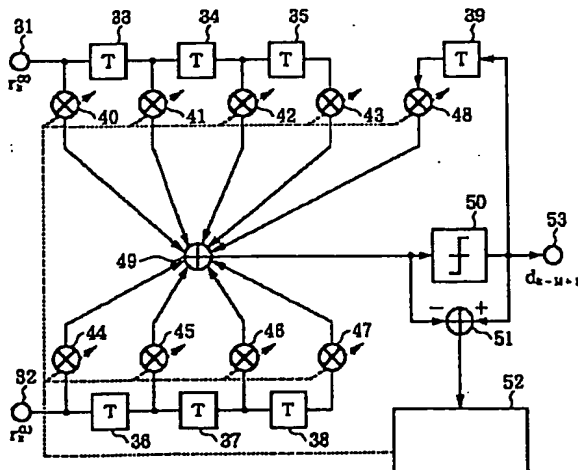
【図1】



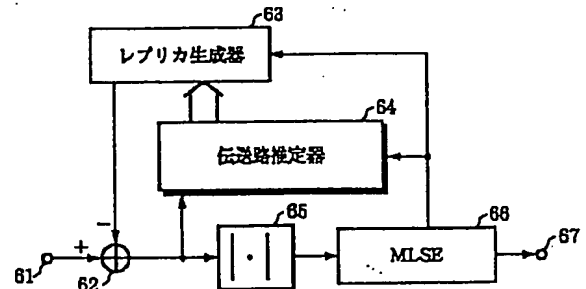
【図2】



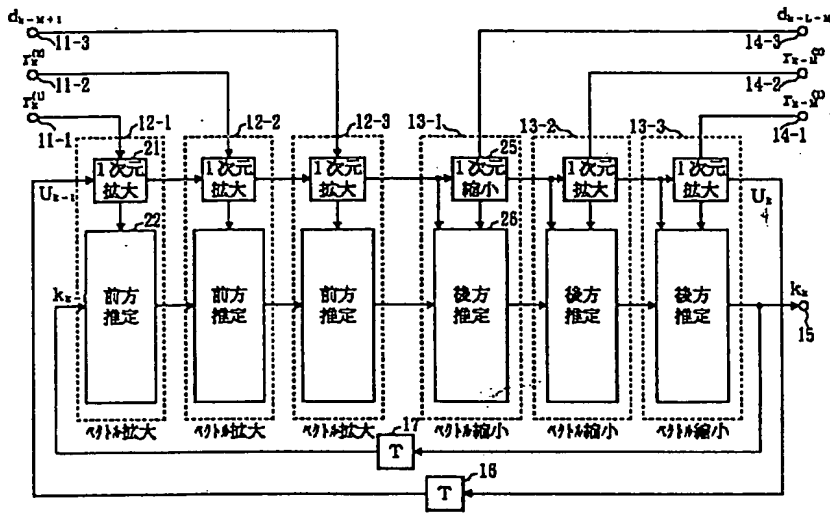
【図3】



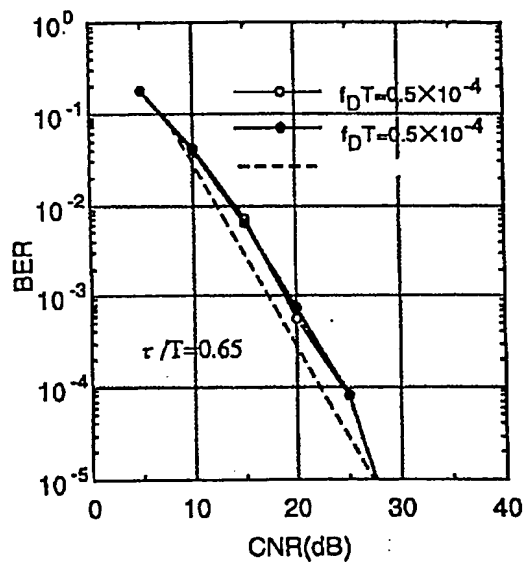
【図6】



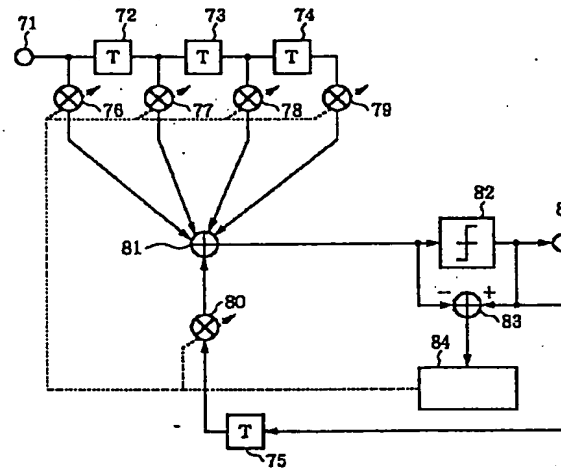
【図4】



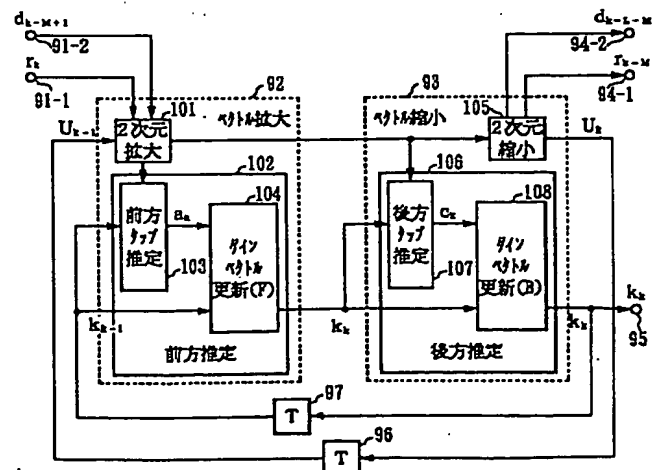
【図5】



【図7】



【図8】



【図9】

